

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-243251

(43)公開日 平成11年(1999)9月7日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>  
H 0 1 S 3/18  
// H 0 1 L 33/00

識別記号

F I  
H 0 1 S 3/18  
H 0 1 L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願平10-45292

(22)出願日 平成10年(1998)2月26日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝  
神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 笹沼 克信

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 斎藤 真司

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 波多腰 玄一

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

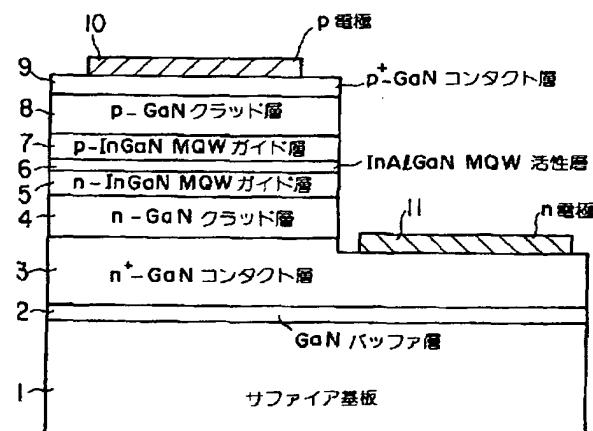
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体レーザ装置

(57)【要約】

【課題】 レーザ発光の垂直方向の遠視野像を単峰化することができ、低いしきい値電流密度で低電圧動作する高信頼性GaN系レーザ装置を提供する。

【解決手段】 本発明のGaN系レーザ装置は、活性層をガイド層で挟み、ガイド層をクラッド層で挟んだ構造において、従来のAlGaNクラッド層の代わりにInGaN又はGaNをクラッド層として用いることにより形成される。光導波路の実効屈折率の値がGaNコンタクト層の屈折率の値に比べて大きくなるようにすれば、遠視野像が単峰化され光ディスク用光源として優れたGaN系レーザ装置を得ることができる。さらに活性層に注入されたキャリアがInGaN又はGaNからなるガイド層にオーバーフローするのを防止するために、活性層とガイド層との間等にAlGaNからなる薄膜障壁層を設ける構造が示される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも活性層とガイド層とクラッド層とを具備するGaN系化合物半導体からなる半導体レーザ装置において、少なくともIn組成x及びAl組成yのいずれかの値が異なる2種のIn<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N (1≥x≥y≥0、1≥x+y≥0)の層が交互に積層された多量子井戸構造を有する活性層と、In<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N (1>z>0)からなるガイド層と、In<sub>u</sub>Al<sub>v</sub>Ga<sub>1-u-v</sub>N (1>u≥v≥0、1>u+v>0)からなるクラッド層と、を含むことを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項2】 少なくとも活性層とガイド層とクラッド層とを具備するGaN系化合物半導体からなる半導体レーザ装置において、少なくともIn組成x及びAl組成yのいずれかの値が異なる2種のIn<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N (1≥x≥y≥0、1≥x+y≥0)の層が交互に積層された多量子井戸構造を有する活性層と、In<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N (1>z>0)からなるガイド層と、GaNからなるクラッド層と、を含むことを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項3】 前記ガイド層は、In組成zの値が異なる2種のIn<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N (1>z≥0)の層が交互に積層された多重量子井戸構造を有することを特徴とする請求項1、2のいずれか1つに記載の半導体レーザ装置。

【請求項4】 活性層と前記活性層の上下に隣接するガイド層と、前記ガイド層にそれぞれ隣接するクラッド層とを含むGaN系化合物半導体からなる半導体レーザ装置において、

In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N (1>x>0)からなる活性層と、In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N (1>y>0、x>y)からなるガイド層と、

前記活性層と前記ガイド層との間、または前記ガイド層と前記クラッド層との間にそれぞれ介在するAl<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N (1>z≥0)からなる薄膜障壁層と、を含むことを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項5】 少なくとも活性層とガイド層とクラッド層とを具備するGaN系化合物半導体からなる半導体レーザ装置において、

In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N (1>x>0)からなる活性層、またはIn<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N (1>x>y≥0)からなるガイド層の片側に隣接し、Al組成zの値が異なる2種のAl<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N (1>z≥0)からなる多量子井戸構造の薄膜障壁層と、

この多量子井戸構造の薄膜障壁層にさらに隣接する、In<sub>u</sub>Al<sub>v</sub>Ga<sub>1-u-v</sub>N (1≥u、v≥0、1≥u+v≥0)からなるクラッド層と、を含むことを特徴とする半導体レーザ装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は半導体レーザ装置に係り、特にビーム径が小さく、かつ、レーザ発光のしきい値電流密度と動作電圧が小さいGaN系化合物半導体を用いた半導体レーザ装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、GaN、In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N (0≤x≤1)、In<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N (0≤x、y≤1、0≤x+y≤1)等のGaN系化合物半導体が、青色半導体レーザの材料として注目されている。以下GaN系化合物半導体からなるレーザ装置を、GaN系LD (Laser Diode)と略称する。また、多元系化合物半導体の組成を表すサフィックスは、特に必要な場合を除き省略することにする。

【0003】GaN系LDは、原理的には短波長化によりビーム径を絞ることが可能であり、光ディスク等の高密度情報処理装置用光源として期待されてきた。従来、GaN系LDとして各種の構造が提案されてきたが、しきい値電流密度を1kA/cm<sup>2</sup>以下にすることはできず、また、レーザ光の遠視野像 (以下FFP; Far Field Patternと省略する)が多峰性を示すため、短波長化に見合うビーム径の縮小が不可能であった。このため、しきい値電流密度が小さくかつ動作電圧が低い、光ディスク用光源として好適なGaN系LDはこれまで得られていないのが実情であった。

【0004】ここでFFPとは、レーザ光の開口部から離れた場所で求めた光ビーム強度の角度分布のことである。一般にLDの光ビームは、活性層に対して垂直方向で上下に広がり易い性質があるので、ビーム径縮小の目安として活性層に対して垂直方向のFFPにとくに注目して説明する。

【0005】従来のGaN系LDのFFPに生じる多峰性のピークを図9に示す。図の横軸θは、活性層に垂直でその長手方向に平行な面内におけるビームの角度、縦軸はビーム強度の相対値である。光ビームの強度分布は上下に20度以上の広がりを有し、かつ、図9に示すような多峰性を示す欠点があった。

【0006】GaN系LDのFFPが多峰性を示す理由は、レーザ発光が反導波モード (anti-index guided mode)により行われるためと考えられる。ここで反導波モードとは、活性層の上下 (光導波路の外側)に位置する層の屈折率が光導波路の実効屈折率よりも大きい場合に、活性層で生じた光が上下の層にしみだし、上下の層の光閉じ込め係数が大きくなるため光強度分布が上下方向に広がり、FFPが多峰性になる現象をいう。

【0007】すなわち、従来GaN系LD構造において、InGaN活性層の屈折率をn<sub>1</sub>、その上下に隣接するGaNガイド層の屈折率をn<sub>2</sub>、前記GaNガイド層の外側から上下に隣接するAlGaNクラッド層の屈

折率を  $n_3$  とするとき、 $n_1 > n_2 > n_3$  が成り立つので、レーザ発光はもっとも屈折率の高い  $InGaN$  活性層に沿った屈折率導波モード (index guided mode) により生じ、従って FFP の光強度分布は原理的には単峰性を示すと考えられてきた。

【0008】しかし、GaN系LDでは、活性層に電流を注入する電極のコンタクト抵抗を低減するため、A1GaNクラッド層の外側から、さらに上下に隣接して不純物添加量の大きいGaNコンタクト層が形成されることに注意しなければならない。以下、不純物を添加することをドープ、添加された不純物をドーパントと呼ぶこととする。

【0009】従来のGaN系LDでは、活性層とガイド層とクラッド層からなる活性層周辺領域の実効屈折率  $n_{eff}$  ( $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$  と前記各層の厚さで決まる平均的な屈折率) が、これを挟むGaNコンタクト層の屈折率  $n_4$  よりも小さいためGaNコンタクト層へ光がしみ出し、GaNコンタクト層の光閉じ込め係数が大きくなつて、FFPにコンタクト層の光閉じ込めに対応するピークを生じ、反導波モードによるFFPの多峰性をもたらす要因となっていた。

【0010】図10は、従来のGaN系LDを構成する多層構造について、発明者が行ったGaNコンタクト層への光のしみ出しを証明するコンピュータシミュレーションの結果である。

【0011】図の縦軸は、LDの開口部をなす劈開面の直近において、多層構造の垂直方向に沿って求めたレーザ光の相対強度 (通常NFP; Near Field Patternと呼ぶ) である。また、縦軸に平行な細い直線はそれぞれコンタクト層、クラッド層、ガイド層、活性層及び電極からなる多層構造の位置を示す境界線である。

【0012】シミュレーションは、 $n-GaN$ コンタクト層25、 $n-A1GaN$ クラッド層26、 $n-GaN$ ガイド層27、 $InGaN$ の多量子井戸 (以下MQW; Multi-Quantum Wellと略称する) 構造の活性層28、 $p-GaN$ ガイド層29、 $p-A1GaN$ クラッド層30、 $p^+-GaN$ コンタクト層31、 $p$ 電極32からなる多層構造について行った。なお、図の横軸は多層構造の厚さ方向の位置を示す座標である。

【0013】図10に示すように、光の一部は $p^+-GaN$ コンタクト層31に閉じ込められ副極大を示している。また厚い $n-GaN$ コンタクト層25にも無視できない量の光のしみだしを生じていることがわかる。

【0014】図11は同一条件で求めた従来のGaN系LDのFFPである。図の横軸はレーザ光のビームの角度である。-15度より左側にみられる光強度の立上がりは、図10でのべた $p^+-GaN$ コンタクト層31への光閉じ込めによるものであり、18度付近にみられる鋭いピークは、厚い $n-GaN$ コンタクト層25への光しみだしによるものと考えられる。

【0015】上記のシミュレーションにより、従来のGaN系LDのFFPの実験データにみられる光ビームの広がりと多峰性とは、いずれもGaNコンタクト層25と31への光閉じ込めによることが発明者により明らかにされた。

【0016】このように、反導波モードによるレーザ光ではFFPが多峰性を示すばかりでなく、ドーパント濃度の高いGaNコンタクト層による光損失が大となる。またレーザ光の広がりにより、活性層の光とじ込め係数  $\Gamma$  が減少し、これらの理由でレーザ発光のしきい値電流密度が高くなる。従って、従来のGaN系LDではGaNコンタクト層への光のもれを減少するため、A1GaNクラッド層のA1組成を大きくして  $n_3$  を小さくするか、又はA1GaNクラッド層を厚くする等の対策がとられてきた。これらの問題点について、発明者が行ったコンピュータシミュレーションの結果を図12及び図13に示す。

【0017】図12は従来のGaN系LDについて求めたA1GaNクラッド層26、30のA1組成と厚さに対するレーザ発光のしきい値電流の変化を示すシミュレーション結果である。縦軸はA1GaNクラッド層の厚さ、横軸はA1GaNクラッド層のA1組成である。各曲線のパラメータはレーザ発光のしきい値電流密度  $J$  の値を示している。図より、A1GaNクラッド層の厚さを大きくする程しきい値電流密度の値は小さく、また、A1GaNクラッド層のA1組成を大きくする程しきい値電流密度の値は小さくなることがわかる。

【0018】従来のGaN系LDについて求めたA1GaNクラッド層26、30及びGaNガイド層27、29の厚さに対するレーザ発光のしきい値電流密度の変化を図13に示す。図よりクラッド層及びガイド層の厚さを大きくすれば、しきい値電流密度の値を低減することができるが、ガイド層の厚さに対するしきい値電流密度の依存性は緩やかであるため、しきい値電流密度を低減するにはクラッド層の厚さを大きくすることが重要であることがわかる。

【0019】図12、図13において、解なしとされる領域はレーザ発光が不可能となる領域であり、その近傍でしきい値電流密度が急激に増加する状況が示されている。いずれにしても、レーザ発光のしきい値電流を低減するためにはクラッド層の厚さとA1組成を増加することが有効であるが、可能な範囲でこれらの値を増加してもしきい値電流密度  $J$  の値を  $1\text{ kA}/\text{cm}^2$  以下とすることは困難であることがわかる。

【0020】通常、A1GaN層においてはGaN層よりも不純物準位が深いため、A1GaNクラッド層のキャリア密度を高くすることは困難であり、A1GaNクラッド層を厚くすればクラッド層の示す抵抗のためレーザ発光の動作電圧は高くなる。また、A1GaNと他のGaN系結晶との格子定数の相違から、A1GaN層の

A1組成や厚さを大きくすればクラックを生じ易く、信頼性の低下をもたらす原因となる。

【0021】このように、低いしきい値電流密度で低電圧動作し、FFPが単峰化され光ディスク等への応用に適したGaN系LDを実現するためには、A1GaNクラッド層の組成や厚さに関し、A1組成を増加するか又はクラッド層を厚くすることにより活性層やガイド層への光閉じ込め効果を向上させることが必要であった。

【0022】しかし一方において、A1組成を増加しクラッド層を厚くすれば、シリーズ抵抗が増加して動作電圧が高くなり、また、A1GaNと他のGaN系結晶との格子定数の相違からクラックが発生し易くなる。このように、互いに相反する課題を解決する方法はいまだに知られていないのが実情であった。

### 【0023】

【発明が解決しようとする課題】上記したように従来のGaN系LDには、InGaN活性層の上下に隣接するGaNガイド層とこのGaNガイド層を挟むように形成されたA1GaNクラッド層とからなる活性層周辺領域の実効屈折率の値が、さらに前記A1GaNクラッド層を挟むように形成されたGaNコンタクト層の屈折率の値よりも低いために、反導波モードによるレーザ発光を生じ、FFPが多峰性を示すと同時に導波損失が増加し、従って、しきい値電流密度が高くなるという問題があつた。

【0024】また、従来のGaN系LDには、クラッド層のA1組成や厚さを大きくしてA1GaNクラッド層の光閉じ込め効果を向上させようとすれば、動作電圧が上昇し、またクラックが発生し、信頼性の問題を生じるという相反する課題が含まれていた。

【0025】本発明は上記の問題点を解決すべくなされたもので、低いしきい値電流密度で低電圧で動作し、かつ、FFPが単峰性を示す、光ディスク等への応用に適した高信頼性のGaN系LDを提供することを目的とする。

### 【0026】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体レーザ装置は、少なくとも活性層とガイド層とクラッド層とを具備するGaN系化合物半導体からなるレーザ装置において、少なくともIn組成x及びA1組成yのいずれかの値が異なる2種のIn<sub>x</sub>A<sub>1-y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N(1≥x≥y≥0, 1≥x+y≥0)の層が交互に積層された多量子井戸構造を有する活性層と、In<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N(1>z>0)からなるガイド層と、In<sub>u</sub>A<sub>1-v</sub>Ga<sub>1-u-v</sub>N(1>u≥v≥0, 1>u+v>0)からなるクラッド層とを含むことを特徴とする。

【0027】また、本発明の半導体レーザ装置は、少なくともIn組成x及びA1組成yのいずれかの値が異なる2種のIn<sub>x</sub>A<sub>1-y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N(1≥x≥y≥0, 1≥x+y≥0)の層が交互に積層された多量子井戸構

造を有する活性層と、In<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N(1>z>0)からなるガイド層と、GaNからなるクラッド層とを含むことを特徴とする。

【0028】好ましくは前記ガイド層は、In組成zの値が異なる2種のIn<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N(1>z≥0)の層が交互に積層された、多重量子井戸構造を有することを特徴とする。

【0029】また、本発明の半導体レーザ装置は、活性層と、前記活性層の上下に隣接するガイド層と、前記ガイド層にそれぞれ隣接するクラッド層とを含むGaN系化合物半導体からなるレーザ装置において、In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N(1>x>0)からなる活性層と、In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N(1>y>0, x>y)からなるガイド層と、前記活性層とガイド層との間、または前記ガイド層と前記クラッド層との間にそれぞれ介在するA<sub>1-z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N(1>z≥0)からなる薄膜障壁層とを含むことを特徴とする。

【0030】また、本発明の半導体レーザ装置は、少なくとも活性層とガイド層とクラッド層とを具備するGaN系化合物半導体からなるレーザ装置において、In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N(1>x>0)からなる活性層、またはIn<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N(1>x>y≥0)からなるガイド層の片側に隣接し、A1組成zの値が異なる2種のA<sub>1-z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N(1>z≥0)からなる多量子井戸構造の薄膜障壁層と、この多量子井戸構造の薄膜障壁層にさらに隣接するIn<sub>u</sub>A<sub>1-v</sub>Ga<sub>1-u-v</sub>N(1≥u, v≥0, 1≥u+v≥0)からなるクラッド層とを含むことを特徴とする。

### 【0031】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。図1は、本発明の第1の実施の形態に係るGaN系LDの断面構造を示す図である。図1に示すGaN系LDは、サファイア基板1の上のGaNバッファ層2と、n<sup>+</sup>-GaNコンタクト層3と、n-GaNクラッド層4と、n-InGaNのMQWガイド層5と、InAlGaNのMQW活性層6と、p-InGaNのMQWガイド層7と、p-GaNクラッド層8と、p<sup>+</sup>-GaNコンタクト層9と、その上に形成されたp電極10とから構成される。

【0032】さらにp<sup>+</sup>-GaNコンタクト層9からn<sup>+</sup>-GaNコンタクト層3の途中まで部分的にエッチングし、露出したn<sup>+</sup>-GaNコンタクト層3の表面にn電極11が形成される。なお、GaNバッファ層2は、サファイア基板1の上に成長するGaN系多層構造の結晶性を改善することを目的としている。

【0033】ここでn型のドーパントはSi、p型のドーパントはMgであり、n<sup>+</sup>、p<sup>+</sup>はそれぞれの型のドーパント濃度が高いことを示す。活性層6を構成するInAlGaNのMQWの構造は、それぞれバンドギャップエネルギーの値が互いに異なる厚さ20nm以下の2

種類の  $In_{n_x}Al_{1-y}Ga_{1-x-y}N$  ( $1 \geq x \geq y \geq 0$ ,  $1 \geq x + y \geq 0$ ) のバンドギャップエネルギーは、 $In$ 組成  $x$  又は  $Al$  組成  $y$ 、又は組成  $x$ 、 $y$  の値を共に変化させることにより、互いに異なる値とすることができる。このとき、 $In$ 組成  $x$  又は  $Al$  組成  $y$ 、又は前記組成  $x$  及び  $y$  の値を最適化すれば、活性層 6 を単層構造とすることもできるし、また厚さ 100 nm 以下の薄い単一層からなる MQW 構造とすることもできる。

【0034】なお図 1 のガイド層 5、7 は、それぞれの厚さが 20 nm 以下の 2 種類の  $In_zGa_{1-z}N$  ( $0 \leq z < 1$ ) 層を交互に積層して MQW 構造のガイド層を形成した場合が示されている。このようにガイド層 5、7 は MQW 構造としても良いし、 $In$ 組成  $z$  の値がガイド層の最適値に選定された単層構造からなるようにしても良い。

【0035】 $InGaN$  ガイド層を MQW 構造とすれば、単層構造に比べて歪みの点で有利になり、良好な結晶を成長することが容易となる。このとき、 $InGaN$  の MQW 層に Mg または Si 等のドーパントを変調ドーピングすれば、動作電圧を低減する上でとくに有効である。ここで変調ドーピングとは、MQW の多層構造に合わせて周期的にドーピングすることをいう。

【0036】図 1 に示すように、ガイド層を  $InGaN$  の MQW 構造又は単層構造とすれば、従来必要であった  $AlGaN$  クラッド層が不要となる特徴がある。すなわち、図 1 に示すように  $InAlGaN$  活性層 6 とその上下に隣接する  $InGaN$  ガイド層 5、7 と、さらにその上下に隣接する  $GaN$  クラッド層 4、8 からなる  $GaN$  系 LDにおいて、 $In$ 組成と  $Al$  組成とを最適化することにより、活性層、ガイド層、及びクラッド層からなる活性層周辺領域の実効屈折率  $n_{eff}$  の値が、さらにその外側に隣接して形成される  $GaN$  コンタクト層の屈折率  $n_4$  よりも大きい  $GaN$  系 LD を実現することができる。

【0037】第 1 の実施の形態の  $GaN$  系 LD では、従来の  $AlGaN$  クラッド層の代わりに  $GaN$  クラッド層 4、8 が用いられるため、その外側にさらに  $GaN$  コンタクト層 3、9 が積層されても、レーザ発光は  $InGaN$  活性層に沿った屈折率導波モードにより生じ、不純物ドープ量の大きい  $GaN$  コンタクト層への光のしみだしが多い。すなわち、 $GaN$  コンタクト層における光閉じ込め係数が従来の  $GaN$  系 LD よりも減少する。

【0038】図 2 は本第 1 の実施の形態に係る  $GaN$  系 LD について求めた FFP の形状である。このとき、 $InAlGaN$  からなる MQW 活性層の  $Al$  組成の値は零、すなわち  $InGaN$  の MQW 活性層を用いる場合について求めたものである。しかし、FFP の形状は MQW 活性層の  $Al$  組成にはほとんど依存せず、 $Al$  を含む MQW 活性層についてもほぼ同様な結果が得られた。

【0039】 $AlGaN$  クラッド層を用いた図 1 に示す従来の  $GaN$  系 LD の FFP に比べて、 $GaN$  コンタクト層による光閉じ込めが完全に消失し、FFP は優れた単峰特性とすることことができた。また、図 2 に示す本発明の  $GaN$  系 LD の構造では、従来約 ±20 度であった光ビームの角度分布が ±5 度に低減し、ビーム径を縮小する上で大幅な改善がみられた。

【0040】図 1 に示す第 1 の実施の形態の  $GaN$  系 LD は、波長約 420 nm において室温で連続動作 (直流電流による動作) し、そのしきい値電流密度は 1 k A/cm<sup>2</sup> 以下であり、また、レーザ発光の FFP は図 2 のような優れた単峰特性を示すことが確認された。

【0041】次に図 3 に基づき、本発明の第 2 の実施の形態に係る  $GaN$  系 LD について説明する。図 3 において、図 1 の  $GaN$  系 LD と対応する部分には同一の参照番号を付している。(以下図 4、図 6、図 7 において同じ)。

【0042】図 1 においては、 $InAlGaN$  活性層 6 の上下に  $InGaN$  の MQW ガイト層 5、7 が隣接していたが、この  $InGaN$  の MQW ガイト層は、図 3 に示すように  $InAlGaN$  活性層 6 の片側のみに隣接していても良い。図 3 では  $InAlGaN$  の MQW 活性層 6 と  $n-GaN$  クラッド層 4 との間に  $n-InGaN$  の MQW ガイド層 5 を設けた場合が示されている。

【0043】先に述べたように、結晶性の良好な  $InGaN$  ガイド層を MQW 活性層に近接して形成することはやや困難であるが、ガイド層を MQW 構造とすれば、活性層に近接して  $InGaN$  からなる良好な MQW ガイド層を設けることも可能になる。

【0044】このように  $InAlGaN$  活性層 6 の片側のみに隣接して  $InGaN$  の MQW ガイド層を設けた場合には、図 2 に比べて FFP の強度分布がやや非対称となり、活性層による光利得もやや低下するが、 $n_{eff}$  の値を最適化すれば図 2 と同様に低いしきい値電流密度と優れた単峰特性の FFP を得ることができる。

【0045】第 1、第 2 の実施の形態でのべたように、従来の  $AlGaN$  クラッド層の代わりに  $GaN$  クラッド層を用いれば FFP を単峰化することができる。また、 $AlGaN$  クラッド層を用いなければ、比較的抵抗の高い  $AlGaN$  クラッド層による電圧降下も生じなくなるためレーザ発光時の動作電圧が低減し、かつ、厚い  $AlGaN$  クラッド層によるクラックの発生も回避され、信頼性が大幅に向上する。

【0046】図 4 は、本発明の第 3 の実施の形態に係る  $GaN$  系 LD の断面構造を示す図である。図 4 に示す  $GaN$  系 LD は、サファイア基板 1 の上に、 $GaN$  バッファ層 2 と、 $n^+ - GaN$  コンタクト層 3 と、 $n - InAlGaN$  クラッド層 1 と、 $n - InGaN$  の MQW ガイド層 5 と、 $InAlGaN$  の MQW 活性層 6 と、 $p - InGaN$  の MQW ガイド層 7 と、 $p - InAlGaN$

クラッド層13と、 $p^+ - GaN$ コンタクト層9と、その上部に形成された $p$ 電極10とからなる。

【0047】さらに、 $p^+ - GaN$ コンタクト層9から $n^+ - GaN$ コンタクト層3の途中まで部分的にエッチングし、露出した $n^+ - GaN$ コンタクト層3の表面に $n$ 電極11が形成される。

【0048】ここで図1と同様 $n$ 型のドーパントは $S$ 、 $i$ 、 $p$ 型のドーパントは $Mg$ である。また $InAlGaN$ のMQW活性層6は、厚さ20nm以下の組成の異なる2種類の $InAlGaN$ 層を交互に積層したMQW構造、又は組成を最適化した単一層又は薄い単層のSQW構造からなるものであり、 $InGaN$ のMQWガイド層5、7は、厚さ100nm以下の組成の異なる2種の $InGaN$ 層を交互に積層したMQW構造からなるものである。

【0049】ガイド層5、7を $InGaN$ のMQWとする理由は、本第3の実施の形態においても第2の実施の形態でのべたように、良好な $InGaN$ 結晶を得ることが難しいが、これをMQW構造とすれば結晶性が大幅に改善されることによる。

【0050】図4に示す第3の実施の形態においては、クラッド層12、13を $In_{u}Al_{v}Ga_{1-u-v}N$  ( $1 > u \geq v \geq 0$ 、 $1 > u+v > 0$ ) のような4元化合物とし、 $In$ 組成 $u$ が $A1$ 組成 $v$ よりも大きい層とすることに特徴がある。

【0051】このように第2の実施の形態では、活性層とクラッド層とを $In$ 組成が $A1$ 組成より大きい $InAlGaN$ とし、かつ、ガイド層を $InGaN$ のMQWとすることにより、活性層とガイド層とクラッド層からなる活性層周辺領域の実効屈折率 $n_{eff}$ の値が、さらにその外側に隣接して形成される $GaN$ コンタクト層の屈折率 $n_4$ よりも大きい $GaN$ 系LDを実現している。

【0052】従って第3の実施の形態の $GaN$ 系LDでは、第1の実施の形態と同様、 $GaN$ コンタクト層3、9が積層されても、実効屈折率 $n_{eff}$ が $GaN$ コンタクト層よりも大きいので、レーザ発光は $InAlGaN$ 活性層に沿った屈折率導波モードにより生じ、ドーパント濃度の高い $GaN$ コンタクト層へのしみだしへは減少する。従って、FFPの強度分布は、図2に示すような優れた単峰特性を示すようにすることができる。

【0053】なお、第2の実施の形態と同様、 $InGaN$ のMQWガイド層5、7は、必ずしも $InAlGaN$ のMQW活性層6の両側に形成する必要はなく、FFPの強度分布がやや非対称になる欠点はあるが、 $InGaN$ のMQWガイド層5、7が片側のみであっても同様に優れた単峰特性を得ることができる。このように第3の実施の形態の構造を用いれば、第1の実施の形態とほほ同様に、優れた特性の $GaN$ 系LDを得ることができる。

【0054】次に図5に基づき本発明の第4の実施の形

態について説明する。本発明の第1乃至第3の実施の形態において、 $InAlGaN$ のMQW活性層6の両側又は片側に $InGaN$ のMQWガイド層5、7を設ける場合について説明した。しかし、図5に示すように、活性層の $A1$ 組成が零であって活性層がガイド層と同様に $InGaN$ からなる場合には、ガイド層と活性層との間のバンドギャップの差が小さいので活性層に注入されたキャリアのガイド層へのオーバーフロー効果が大きくなる。

10 【0055】すなわち、 $In_xAl_{1-x}N$  ( $0 < x < 1$ ) からなる活性層と、 $In_yAl_{1-y}N$  ( $0 < y < 1$ 、 $x > y$ ) からなるガイド層とが隣接して形成された場合に、 $In$ 組成 $x$ と $y$ との差が小さければ、両者のバンドギャップの差は小さくキャリアオーバーフローを生じやすい。

【0056】図5では、活性層とガイド層とが共に均一組成の単層からなる場合が示されているが、同様な問題は両者が共にMQWの場合、又は両者のいずれかがMQWの場合にも生じる。また、活性層に $A1$ 組成が含まれても、その含有量が小さい場合には同様な問題が生じる。すなわち、ガイド層にキャリアがオーバーフローし、高い効率でレーザ発光させるのに必要な活性層へのキャリア閉じ込めが不十分となる。

【0057】図5は、この問題を回避するため、 $InGaN$ 活性層と $p - InGaN$ ガイド層及び $n - InGaN$ ガイド層との間にそれぞれ $A1_zGa_{1-z}N$  ( $0 \leq z < 1$ ) からなる薄膜障壁層を設けたときのバンド構造図を示している。ここで $A1$ 組成 $z$ の値は、前記活性層とガイド層の $In$ 組成 $x$ 、 $y$  ( $x > y$ ) との兼ね合いで最適化される。図5において $p$ 型及び $n$ 型のクラッド層が $GaN$ からなるとき、この $A1GaN$ 薄膜障壁層は $InGaN$ ガイド層と $GaN$ クラッド層の間に設けても良い。

【0058】 $p$ 型側の $A1GaN$ 薄膜障壁層で電子が活性層から $p - InGaN$ ガイド層にオーバーフローするのを防止され、 $n$ 型側の $A1GaN$ 薄膜障壁層で正孔が活性層から $n - InGaN$ ガイド層にオーバーフローするのを防止される。このように活性層とガイド層が共に $InGaN$ から形成され、両者の界面に形成される障壁が小さい場合には、活性層と $n$ 側及び $p$ 側の $InGaN$ ガイド層との間にそれぞれ $A1GaN$ 薄膜障壁層を設け、活性層へのキャリア閉じ込めを強化することがレーザ発光のしきい値電流密度を低減し、発光効率を高めるための重要な対策となる。

【0059】次に図6に基づき、本発明の第5の実施の形態について説明する。図6は、前記 $A1GaN$ 薄膜障壁層15及び17を、それぞれ $InGaN$ のMQW活性層16と $n - InGaN$ ガイド層14との間、及び $InGaN$ のMQW活性層16と $p - InGaN$ ガイド層18との間に設けた $GaN$ 系LDの断面構造が示されてい

る。ここで  $InGaN$  ガイド層の組成は、 $In_{y}Ga_{1-y}N$  ( $0 < y < 1$ ) の範囲で最適化される。

【0060】図6に示す第5の実施の形態のGaN系LDは、 $p-InGaN$  ガイド層18と $p-GaN$  クラッド層8との間に埋め込まれたストライプ状の開口部を有する $n-GaN$  電流プロック層19を備えている。 $n-GaN$  電流プロック層19は、 $p$ 電極10より流入する正孔電流を $InGaN$  のMQW活性層の直近部において、活性層の長手方向に沿って中央部に集中することにより、レーザ発光のしきい値電流密度を低減し、かつ、活性層の面内のビーム幅を小さくするのに役立つ。

【0061】 $p-GaN$  クラッド層8と $p-InGaN$  ガイド層18との界面は、図6の破線に示すA、B、C、のいずれの位置にあっても良い。その位置は当該GaN系LDの製造工程に依存して選択される。また図6に示す構造において、電流プロック層19の材料は $p-GaN$  に限定されるものではなく、 $n-InGaN$  又は $n-AlGaN$  を用いても良い。

【0062】電流プロック層として $n-InGaN$  を用いる場合には、 $GaN$  に比べてバンドギャップが小さいため、 $InGaN$  のMQW活性層16のレーザ光が一部吸収されることによりレーザ光の横モードが制御され、单一モードのレーザ発光が可能となり最小のビーム幅を得ることができる。また $n-AlGaN$  を用いる場合には、 $InGaN$  からなるガイド層及び活性層に比べて屈折率が小さいので、光閉じ込め効果によりレーザ光の横モードが制御され、同様に单一モードのレーザ発光が可能となる。

【0063】このようにレーザ発光の横モードを制御して单一モードにすると同時に、従来の $AlGaN$  クラッド層に代えて図6に示すように $GaN$  クラッド層を用いれば、 $GaN$  コンタクト層への光閉じ込めが回避され、 $FFP$  が単峰化されるので、活性層に対して垂直方向の光ビームの角度分布もまた大幅に低減される。従って、光ディスク等の光源として極めて優れた、ビーム径の小さいGaN系LDを得ることができる。

【0064】また図6に示すGaN系LDの構造において、 $n$ 型側の $GaN$  クラッド層が省略されているが、 $n-GaN$  クラッド層の役割は $n-GaN$  コンタクト層3が兼ね備えていることに注目しなければならない。

【0065】図1、図3及び図4においては、この $n-GaN$  コンタクト層3を $n^{+}$  することにより $n$ 電極のコンタクト抵抗の低減を図っているが、図6のGaN系LDでは $n-InGaN$  ガイド層14を通るレーザ光が、これに隣接しクラッド層としての役割を兼ねる $n-GaN$  コンタクト層3により吸収されるので、これを $n^{+}$  とすることはできない。このため、図6の $n-GaN$  コンタクト層3は図1、図3及び図4に比べて厚く成長し、 $n$ 電極下部のシート抵抗を低減するように設計される。

【0066】このことから逆に図1、図3及び図4において、 $n^{+}-GaN$  コンタクト層3の代わりに厚い $n-InGaN$  コンタクト層とし、 $n-GaN$  クラッド層又は $n-InAlGaN$  クラッド層を省略できることが導かれる。なお、図6において $p-GaN$  クラッド層8は $p-InGaN$  としても良く、また $p-InGaN$  ガイド層18を $p-GaN$  層としても良い。

【0067】次に図7に基づき、本発明の第6の実施の形態について説明する。図7に示す第6の実施の形態の10GaN系LDは、電流プロック層19が $p-InGaN$  ガイド層18を超えて $InGaN$  のMQW活性層16と $n-InGaN$  ガイド層14との界面にまで達する構造にされたことに特徴がある。また、図7のGaN系LDは $AlGaN$  薄膜障壁層15、17を備え、 $InGaN$  のMQW活性層16に注入された電子・正孔の $InGaN$  ガイド層14、18へのオーバーフローを防止している。

【0068】このように活性層16が直接電流プロック層19により仕切られた構造にすれば、活性層16への電流の集中は第5の実施の形態に比べてさらに効果的に行われ、しきい値電流の低減とレーザ発光の単一モード化を達成することができる。

【0069】このとき $n-GaN$  電流プロック層の深さは、図7の破線に示すように、それぞれA、B、C、Dの位置までとすることができます。Dの位置を選択すれば、 $InGaN$  のMQW活性層に注入される電子・正孔電流は均一化され良好な結果が得られる。なお、図7のGaN系LDにおいて、 $InGaN$  ガイド層14、18は、 $n$ 側又は $p$ 側の一方のみとすることもできる。

【0070】ここで、第5、第6の実施の形態に係るGaN系LDの製造方法の特徴について説明する。図6に示すGaN系LDの製造方法は次のとおりである。まず、サファイア基板1の上に結晶性の優れたGaN系の多層構造を成長するため、 $GaN$  バッファ層2を成長し、引き続き $n-GaN$  コンタクト層3、 $n-InGaN$  ガイド層14、 $AlGaN$  薄膜障壁層15、 $InGaN$  のMQW活性層16、 $AlGaN$  薄膜障壁層17、 $p-InGaN$  ガイド層18まで成長する。

【0071】次に $n-GaN$  電流プロック層19と表面40保護層(図示せず)を成長し、この表面保護層を用いて前記 $n-GaN$  電流プロック層19の一部を $p-InGaN$  ガイド層18に達するまで選択エッチングし、ストライプ状の開口部を形成する。

【0072】高温放置により、前記表面保護層を気相エッティングで除去した後、前記開口部の内部と前記電流プロック層上に $p-GaN$  クラッド層8を成長する。以上のGaN系多層構造の成長は全て1000°C以下のMOCVD (Metal-Organic Chemical Vapor Deposition)法を用いて行うことができる。

【0073】従来のGaN系LDでは通常 $AlGaN$  ク

ラッド層を用いるが、良好なAlGaNを成長するのに1000°C以上の高温成長を行う必要があった。1000°C以上の高温成長では、p型ドーパントのMgが拡散しやすく、InGaNのMQW活性層16の中にMgが侵入したり、MQWの構成に必要なIn組成のステップ状の周期的な組成分布がInの相互拡散によりならかにされて、MQW活性層の優れた特性が発揮されなくなる等の問題を生じていた。

【0074】図6に示す第5の実施の形態のGaN系LDにおいても、薄膜障壁層としてAlGaNを成長しなければならないが、薄膜障壁層の所要厚さは50nmに過ぎないので、1000°C以下においても十分な性能を発揮するAlGaN薄膜障壁層を成長することができる。

【0075】また電流ブロック層としてAlGaNを用いる場合には、AlGaN層中に電流を流す必要がないので、1000°C以下の低温成長により結晶の品質が多少低下しても、十分に目的を達することができる。図7の第6の実施の形態に係るGaN系LDの構造は、第5の実施の形態と同様な材料で構成されるため、工程の手順に多少の相違はあるが、同様に全ての構成を1000°C以下の低温で形成することができる特徴がある。

【0076】また、従来のGaN系LD構造のように、AlGaNクラッド層が存在すると、製造工程中にAlの酸化を生じ易いので、結晶の品質が低下する恐れがあるが、本発明のGaN系LD構造では製造工程中にAlが露出することがないので、信頼性の高い素子を形成することができる。

【0077】次に図8に基づき本発明の第7の実施の形態について説明する。図8には本発明に直接関連する構造部分のみが示されている。図8に示すように、GaN系LDがn型クラッド層20と、n型GaNガイド層21と、InGaNのMQW活性層16と、p-GaNガイド層23と、p-クラッド層24とを含むとき、InGaNのMQW活性層16とp-GaNガイド層23との間にAlGaNのMQW薄膜障壁層、又はAlGaN/GaNからなるMQW薄膜障壁層を設けることにより、活性層に注入された電子のp-GaNガイド層23へのオーバーフローを防止することができる。

【0078】薄膜障壁層をMQW構造とすれば、均一なAl組成を含む単層のAlGaN層を薄膜障壁層とするよりもMQB(Multi-Quantum Barrier)の効果により、同一の平均Al組成で、実効的な障壁高さをより高くすることができる。

【0079】またInGaNのMQW活性層16による歪みの発生がAlGaN薄膜障壁層を隣接させることにより緩和される効果がある。従ってInGaN活性層16への均一な電流の注入が可能になる。なお、AlGaN/GaNからなるMQW薄膜障壁層を設ける場合にもAlGaNの薄膜障壁層と同様な効果がみられる。なお

前記MQW薄膜障壁層は、GaN系LDの動作電圧低減のためMgまたはSi等のドーパントを変調ドープすることができる。

【0080】また薄膜障壁層は、InGaNのMQW活性層16とn-GaNガイド層21との間に設けても良い。また、図8において、クラッド層20、24をそれぞれn型及びp型InuAlvGau-vN(1≤u, v≥0, 1≤u+v≤0)からなるクラッド層とし、少なくともp側及びn側のいずれかの前記ガイド層と前記クラッド層との間に、前記MQW薄膜障壁層を設けるようにしても良い。この他、図5及び図8に示す多層構造を基本として、これまでに説明した種々の構造のGaN系LDを構成することができることはいうまでもない。

【0081】例えば図3において、InAlGaNのMQW活性層6とp-GaNクラッド層8との間にAlGaNのMQW又はAlGaN/GaNからなるMQW薄膜障壁層を設けることができる。またInAlGaNのMQW活性層6とn-InGaNのMQWガイド層5との間にAlGaN薄膜障壁層を設けることができる。

【0082】なお、本発明は上記の実施の形態に限定されることはない。例えば、図4の第3の実施の形態において、ガイド層5、7がMQW構造である場合について説明したが、ガイド層5、7は、In組成が最適化された単層のInGaN層とすることもできる。また全ての実施の形態において活性層はInAlGaNのMQW又はInGaNのMQW構造を有するとして説明したが、InGaN/GaNのMQW構造又は単層のInAlGaNであっても良い。

【0083】また全ての実施の形態において、GaN系の多層構造はn型側から成長する場合について説明したが、p型側から成長することにより、同様な特性と構造のGaN系LDを形成することができる。また成長基板はサファイアからなる場合について説明したが、サファイア基板上に厚いGaN結晶を成長したものや、GaNのバルク結晶を基板として用いることもできる。その他本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。

【0084】

【発明の効果】上述したように本発明の半導体レーザ装置によれば、活性層をInAlGaN、ガイド層をInGaN、クラッド層をGaN又はInAlGaNとすることによって、レーザ発光における光導波路の実効屈折率の値をGaNコンタクト層よりも大きくすることができるので、GaNコンタクト層における光閉じ込め係数が減少し、レーザ発光のFFPにおける光強度分布を単峰性とすることができる。

【0085】また、比較的高抵抗のAlGaNクラッド層の代わりに、GaNクラッド層またはIn組成がAl1組成より大きいInAlGaNクラッド層を用い、さら

にAlGaN等からなる薄膜障壁層を採用することにより、動作電圧としきい値電流密度を低減し、AlGaNと他のGaN系化合物との間の格子定数差によるクラック発生の恐れのない高信頼性のGaN系LDを得ることができる。このため光ディスク用として実用性に優れた半導体レーザ装置を実現することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態のGaN系LDの断面構造を示す図。

【図2】第1の実施の形態のGaN系LDにおける単峰性のFFPを示す図。

【図3】第2の実施の形態のGaN系LDの断面構造を示す図。

【図4】第3の実施の形態のGaN系LDの断面構造を示す図。

【図5】薄膜障壁層を備えるGaN系LDの活性層近傍のバンド構造図。

【図6】第5の実施の形態のGaN系LDの断面構造を示す図。

【図7】第6の実施の形態のGaN系LDの断面構造を示す図。

【図8】第7の実施の形態のGaN系LDの活性層近傍における断面構造を示す図。

【図9】従来のGaN系LDにおける多峰性のFFPを示す図。

【図10】従来のGaN系LDにおける多峰性のNFPを示すシミュレーション図。

【図11】従来のGaN系LDにおける多峰性のNFPを示すシミュレーション図。

【図12】従来のGaN系LDにおけるクラッド層の厚さとAl組成に対するしきい値電流密度の依存性を示す図。

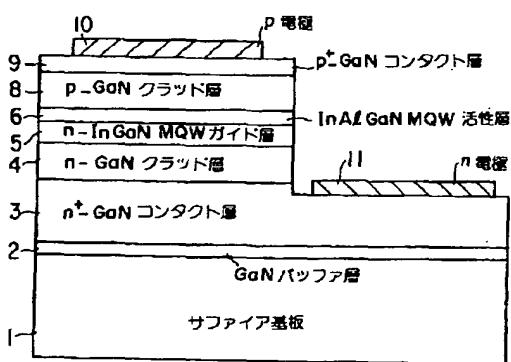
【図13】従来のGaN系LDにおけるガイド層・クラ

ッド層の厚さに対するしきい値電流密度の依存性を示す図。

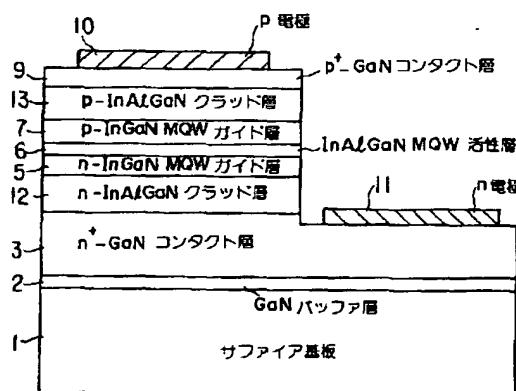
【符号の説明】

- 1…サファイア基板
- 2…GaNバッファ層
- 3…n<sup>+</sup>-GaNコンタクト層
- 4…n-GaNクラッド層
- 5…n-InGaNのMQWガイド層
- 6…InAlGaNのMQW活性層
- 7…p-InGaNのMQWガイド層
- 8…p-GaNクラッド層
- 9…p<sup>+</sup>-GaNコンタクト層
- 10…p電極
- 11…n電極
- 12…n-InAlGaNクラッド層
- 13…p-InGaNクラッド層
- 14…n-InGaNガイド層
- 15、17…AlGaN薄膜障壁層
- 16…InGaNのMQW活性層
- 18…p-InGaNガイド層
- 19…n-GaN電流ブロック層
- 20…n-クラッド層
- 21…n-GaNガイド層
- 22…AlGaNのMQW又はAlGaN/GaNのMQWからなる薄膜障壁層
- 23…p-GaNガイド層
- 24…p-クラッド層
- n<sub>eff</sub>…実効屈折率
- n<sub>1</sub>…活性層の屈折率
- n<sub>2</sub>…ガイド層の屈折率
- n<sub>3</sub>…クラッド層の屈折率
- n<sub>4</sub>…コンタクト層の屈折率

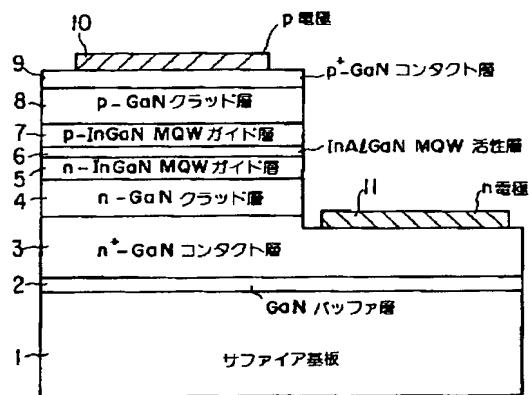
【図3】



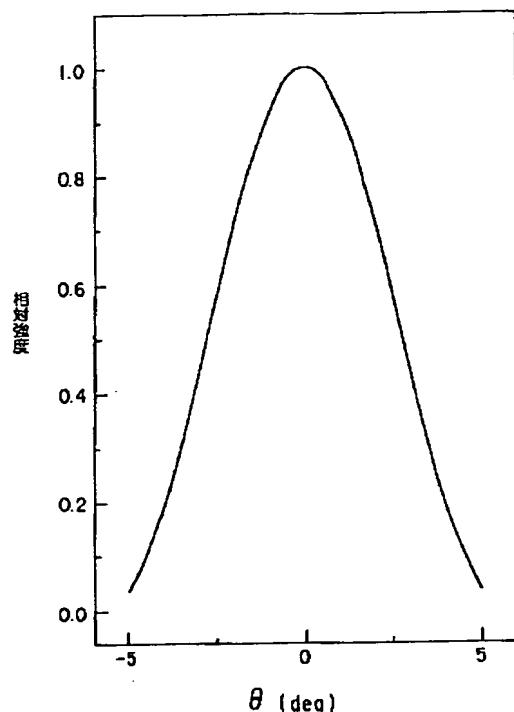
【図4】



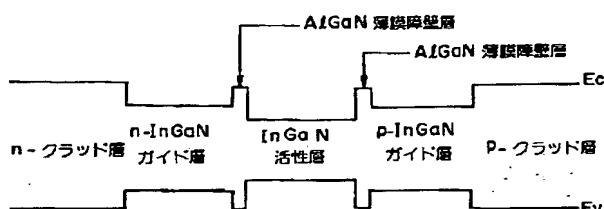
【図1】



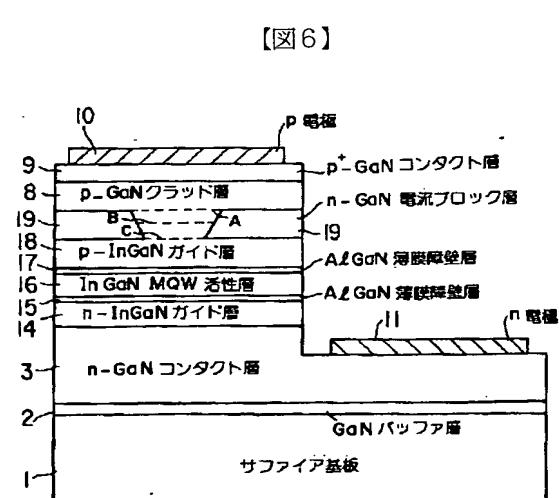
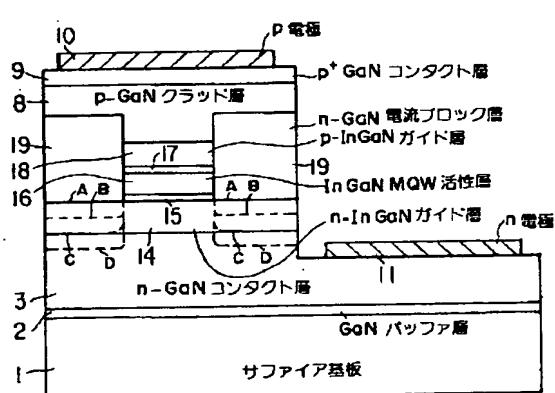
【図2】



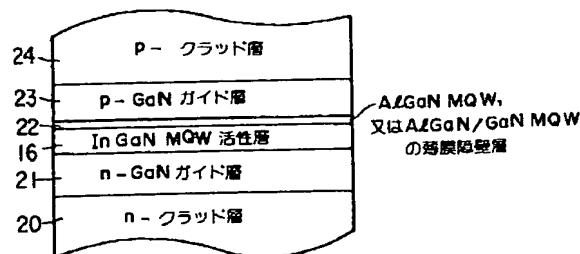
【図5】



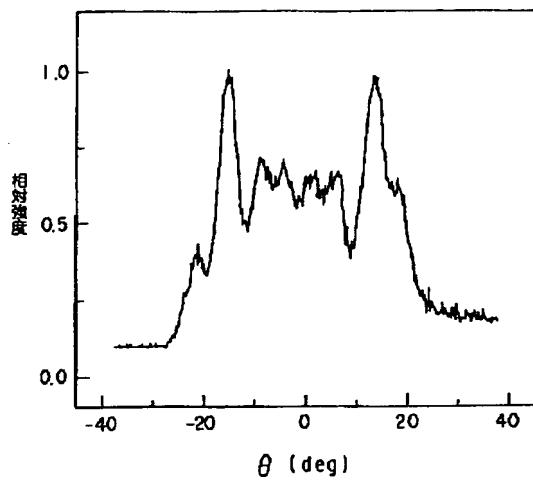
【図7】



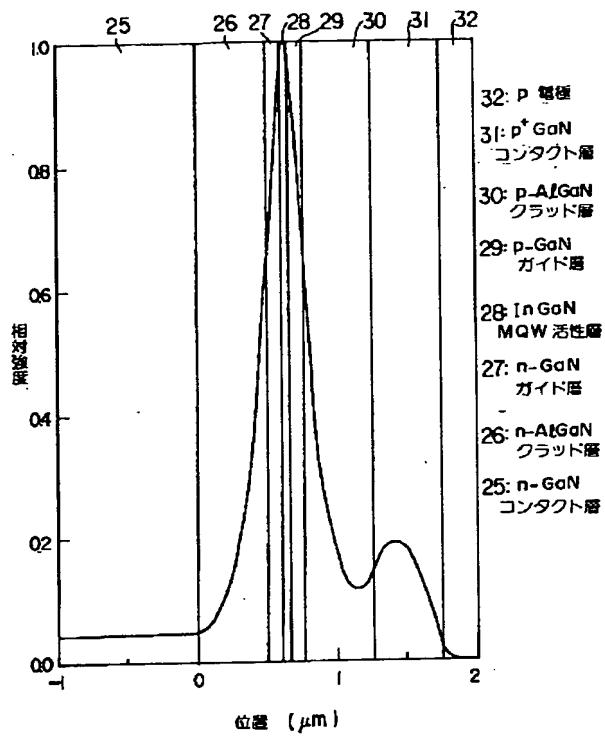
【図8】



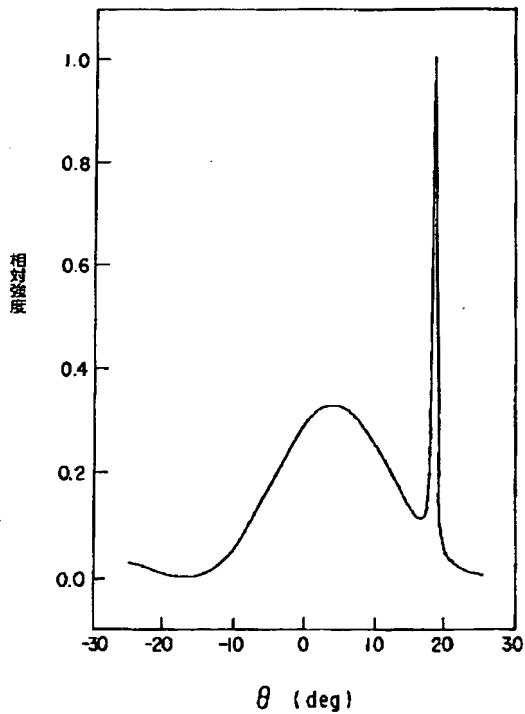
【図9】



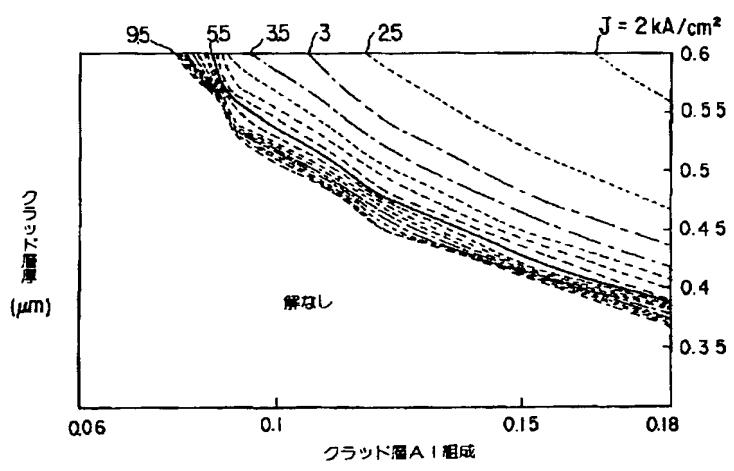
【図10】



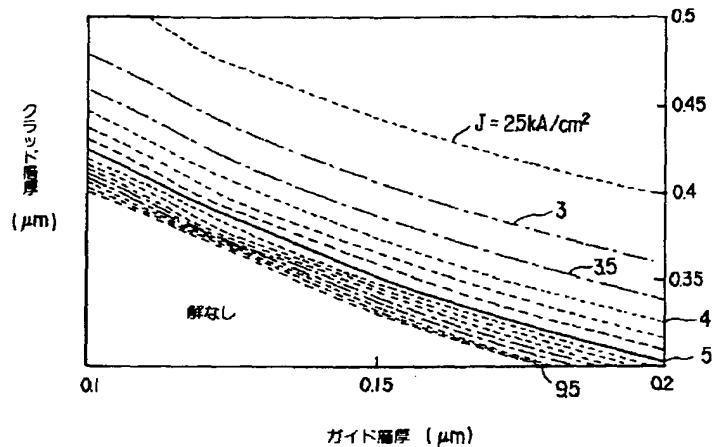
【図11】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

(72) 発明者 西尾 譲司  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 小野村 正明  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内